

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

**КОНОТОП ДМИТРО ІГОРОВИЧ**



УДК 004.94:005.311.2

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ  
УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації експериментальних досліджень Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та на Державному підприємстві «Антонов».

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**Зінченко Валерій Петрович**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського», доцент кафедри автоматизації  
експериментальних досліджень

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Павленко Петро Миколайович**,  
Національний авіаційний університет,  
заступник директора з науково-методичної  
роботи Навчально-наукового інституту  
інформаційно-діагностичних систем;

кандидат технічних наук, доцент  
**Величко Віталій Юрійович**,  
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова,  
старший науковий співробітник  
відділу мікропроцесорної техніки

Захист відбудеться «11» жовтня 2019 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.29 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м.Київ–56, просп. Перемоги 37, корпус №11, аудиторія 215.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ–56, просп. Перемоги 37.

Автореферат розісланий «11» вересня 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Теленик С. Ф.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Створення складних технічних об'єктів (СТО, як-от об'єкти наукоємного машинобудування, котрі характеризуються кількістю елементів та зв'язків, що дорівнює  $10^6$  і більше) – процес, що містить тривалі підпроцеси, складні об'єкти та моделі і спирається на наявні стандарти та інформаційні технології (ІТ), серед яких істотне місце займають ІТ CALS (підтримка безперервних поставок і життєвого циклу (ЖЦ) та PLM-рішення (керування ЖЦ) СТО. При розробці та дослідженні моделей, які відображають різні сторони структури та функціонування СТО, використовуючи наявні ІТ CALS та PLM-рішення, залишаються невирішеними надзвичайно актуальні проблемні задачі: із забезпечення зв'язків між моделями та етапами створення СТО, поєднання складових ІТ CALS та PLM-рішень, вирішення яких дозволить скоротити тривалість створення СТО та зменшити їхню вартість при забезпеченні відповідної якості.

Основний внесок у розвиток принципів ІТ CALS та PLM-рішень, що пов'язується з необхідністю підвищення якості системних рішень, які готуються і приймаються в результаті функціонування відповідних автоматизованих систем, зробили: В. М. Глушков, М. З. Згуровський, В. С. Михалевич, О. А. Павлов, О. І. Ролік, І. В. Сергієнко, В. І. Скурихін, Н. А. Соколова, С. Ф. Теленик, та інші. Дослідженню завдань розробки моделей СТО з використанням ІТ CALS та PLM-рішень із додаванням проблемно-орієнтованих комплексів і систем приділяли увагу Ю. В. Абрамов, С. А. Бичков, В. А. Богуслаєв, А. Г. Братухін, О. Г. Гребеников, В. П. Зінченко, Г. О. Кривов, П. М. Павленко, М. Т. Фісун та інші вчені. Роботи Т. Грубера, Н. Гуаріно, О. В. Палагіна, М. Стокса визначили ЖЦ обробки знань при розробці СТО і є відправною точкою для використання знань, що містяться в сучасних ІТ CALS та PLM-рішеннях. Впровадженням складових ІТ CALS та PLM-рішень при створенні СТО займаються провідні компанії світу: Boeing, Airbus, ДП «Антонов», Dymler, General Motors, Ford Motors, Hyundai Heavy Industries та інші.

Дослідження, пов'язані з розробкою ІТ створення та супроводження узагальненої моделі СТО в умовах зміни параметрів та обмежень моделей, доповнюють наявні складові ІТ CALS та PLM-рішень, де базовими є інформаційні системи (ІС) PDM (керування даними про виріб) та САХ (комп'ютерне проектування, аналіз та виробництво) і є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася на Державному підприємстві «Антонов» (ДП «Антонов») відповідно національної програми створення близькомагістрального транспортного турбореактивного літака АН-178 (наказ № 1967 від 27.08.2010 на ескізне проектування літака АН-178 та Директивний графік створення АН-178 від 28.12.2011) та турбогвинтового регіонального вантажопасажирського літака АН-132 (Директивний графік створення літака-демонстратора АН-132 від 28.04.2015 та наказ № 96 від 10.06.2015 про випуск конструкторської документації). Робота виконана також згідно з планом наукових досліджень кафедри автоматизації

експериментальних досліджень Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Сікорського) та в рамках держбюджетної теми 2358 "Розробка засад створення нано- та пікосупутників як космічних мікролабораторій" (R/K/ 0110U002593).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є скорочення тривалості створення СТО та зменшення їхньої вартості при забезпеченні відповідної якості за рахунок налагодження зв'язку між моделями складних технічних об'єктів та поєднання складових інформаційних технологій CALS та PLM-рішень шляхом дослідження та розробки інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати основні задачі:

1. Провести системний аналіз наявних технологій, методів та засобів створення моделей складних технічних об'єктів та інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

2. Сформулювати та дослідити узагальнену модель складних технічних об'єктів, яка дозволить налагодити інформаційний зв'язок між моделями створення складних технічних об'єктів.

3. Розробити метод знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів на базі узагальненої моделі, що дозволить забезпечити взаємозв'язок між етапами створення складних технічних об'єктів, а також поєднати складові інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

4. Створити модифікації методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів для: керування параметричною інформацією при створенні моделей складних технічних об'єктів; обміну даними між складовими інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

5. Розробити інформаційну технологію створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів та оцінити її ефективність.

*Об'єктом дослідження* є інформаційні процеси підтримки етапів життєвого циклу складних технічних об'єктів.

*Предметом дослідження* є інформаційна технологія створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів.

**Методи дослідження:** методи експертного оцінювання, структурного системного аналізу, теорії множин, нечіткої логіки та теорії алгоритмів – для дослідження та розробки узагальненої моделі, методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів та інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів; об'єктно-орієнтованого програмування, баз даних, представлення знань – для вирішення завдання керування параметричною інформацією при побудові моделей складного технічного об'єкта та для обміну даними між складовими інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

Інформаційну базу дослідження склали: практичні роботи із впровадження складових інформаційних технологій CALS та PLM-рішень на ДП «Антонов» та інших провідних підприємствах-розробниках СТО; наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних вчених; результати проведених автором наукових досліджень.

## **Наукова новизна одержаних результатів**

*Вперше:*

– запропоновано узагальнену модель складних технічних об'єктів, яка на основі використання теоретико-множинного підходу дозволяє налагодити інформаційний зв'язок між моделями процесу створення складних технічних об'єктів.

– розроблено метод знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів на базі узагальненої моделі, що забезпечує взаємозв'язок між етапами створення складних технічних об'єктів, а також дозволяє поєднати складові інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

*Удосконалено* метод інтегрованого проектування та комп'ютерного моделювання за рахунок введення рівня керування параметрами моделей складних технічних об'єктів з використанням бази даних та знань, що дозволяє розширити функціональні можливості методу та зробити його більш гнучким.

Розроблено інформаційну технологію створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів на базі методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів, що дозволило: автоматизувати процес обробки та побудови моделей; доповнити технологію паралельного проектування PLM та складові інформаційних технологій CALS та PLM-рішень для завдання створення моделей складних технічних об'єктів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці засобів забезпечення реалізації інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів: бази даних "Параметри моделей", що ведеться в MySQL за допомогою системи керування базами даних DbVisualizer; бази знань, використовуючи програми Protege 4.3 та DbVisualizer, в якій зберігаються обмеження на складові бази даних відповідно вимогам нормативних документів і т. д., що створює швидкі та якісні умови для внесення змін в процес проектування і виробництва складних технічних об'єктів за допомогою спеціально налаштованих дій програмних модулів, розроблених в середовищі Java. Розроблено програмні модулі для зв'язку з базою даних "Параметри моделей": інформаційної системи CAx NX в середовищі Java; та інформаційної системи CATIA в середовищі Visual Basic. Розроблено інформаційну систему створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів, в якій розроблені інструментальні засоби приєднано до наявних серверів підприємства, використовуючи інформаційну систему PLM TeamCenter, з яких отримуються дані, що використовується в процесі створення складних технічних об'єктів.

Розроблені автором засоби інформаційної технології використані в процесі створення моделей літальних апаратів на ДП "Антонов". Реалізація інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів при проектуванні легкого транспортного літака та турбогвинтового регіонального вантажопасажирського літака на прикладі моделей вантажного люку забезпечує близько 22% економії матеріальних витрат. Основні положення та висновки дисертаційної роботи використані в навчальному процесі КПП ім.

Сікорського і Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, що підтверджено відповідними актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані лише ті ідеї, положення та матеріали, які є результатом власних досліджень автора. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать такі результати: в [1] проаналізовано проблеми взаємодії моделей та ІС PLM; в [2, 4, 6–8, 15, 16] описано метод знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів та його модифікації; в [3, 10] формалізовано проблематику розробки інформаційних технологій процесу побудови моделей; в [5, 13, 14] розроблено модифікацію методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів для керування параметричною інформацією при створенні моделей; в [9] подано математичне забезпечення процесу побудови моделей; в [11, 12, 18–21] розкрито розробку засобів створення складних технічних об'єктів на основі знання-орієнтованих технологій; в [17] представлено інформаційні технології обміну даними при створенні моделей; в [22, 23] показано принципи реалізації знання-орієнтованого керування на попередніх етапах створення складних технічних об'єктів; в [24] описано розподілену модель клієнт/сервер для реалізації системи PLM.

Для виконання окремих завдань роботи здобувач пройшов стажування в Інституті інформатики Словацької академії наук (Братислава, Словаччина) та Корейському політехнічному університеті (Сеул, Республіка Корея) за підтримки конкурсних стипендій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень, які включені в дисертацію, обговорювалися на: II International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control» (Kyiv, 2012); II International Conference «Actual problems of UAV development» (Kyiv, 2013); V Workshop on Intelligent and Knowledge Oriented Technologies (Bratislava, Slovakia, 2010); XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЛОМОНОСОВ-2012» (Москва, 2012 р.); XVIII Міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика/Automatics – 2011” (Львів, 2011 р.); II International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics" (Kyiv, 2012); XX-th International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» (Kyiv, 2014); IX, X та XI Міжнародних науково-технічних конференціях “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки” (Київ, 2013 – 2017 рр.); II наук. конференції магістрів та аспірантів, присвяченій 20-річчю факультету прикладної математики (Київ, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія” (Вінниця, 2010 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (Київ, 2012 р.); VII International Conference Students and young scientists «Intelligence. Integration. Reliability» (Kyiv, 2014) та інших, що приведені в дисертаційній роботі; наукових семінарах Інституту інформатики Словацької Академії наук (Братислава, Словаччина, 2010, 2011, 2016 рр.); відділенні перспективних розробок ДП «Антонов»; кафедрі автоматизації

експериментальних досліджень КПП ім. Сікорського; науковому семінарі в авіаційній компанії САМАС (Шанхай, Китайська народна республіка, 2012 р.); науковому семінарі в Шеньянському авіаційному університеті (Шеньян, Китайська народна республіка, 2016 р.) та наукових семінарах наукової ради з напрямку “Інформаційні технології” (Київ, 2017, 2018 рр). Опис розподіленої моделі клієнт/сервер для реалізації ІС PLM викладено у навчальному посібнику "Обчислювальні мережі: побудова та програмування": навч. посібник / Зінченко В. П., Зінченко С. В., Мірошніченко І. В., Конотоп Д. І., Резаї В. - К. : НТУУ «КПІ», 2011 . - 243 с. Результати роботи використовуються в навчальному процесі при викладанні курсів на кафедрі автоматизації експериментальних досліджень КПП ім. Сікорського: «Багаторівневі системи обробки інформації» та «Обчислювальні мережі».

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи викладені в 24 наукових працях, з них 8 статей, що входять до провідних наукових фахових видань (з них 1 стаття у виданнях іноземних держав та 1 стаття входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), 15 матеріалів і тез доповідей на наукових конференціях та 1 навчальний посібник у співавторстві. 5 статей належать особисто автору.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, заключення, списку використаних джерел з 210 найменувань та додатків. Повний обсяг роботи складає 224 сторінки. Обсяг анотації складає 19 сторінок. Основний текст дисертації складає 153 сторінки, 70 рисунків, 11 таблиць, 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету і завдання роботи, сформульовано об’єкт, предмет та методи дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів дослідження, визначено структуру дослідження.

В **першому розділі** на основі комплексного аналізу наукових літературних джерел показано важливість створення моделей СТО, математично обґрунтовано створення моделей СТО, досліджено та узагальнено ІТ і складові ІТ CALS та PLM-рішень, що використовуються при створенні СТО, поставлено завдання дослідження.

На основі складових ІТ CALS та PLM-рішень – ІС PDM та САХ показано співвідношення класичних етапів створення СТО (літальні апарати, кораблі, ракетні апарати, автомобілі та інше). Наявний процес створення СТО, який базується на методі інтегрованого проектування і комп’ютерного моделювання та на основі технології паралельного проектування PLM, представимо ітераційною процедурою:

$$\longrightarrow A_0 \longrightarrow M_1^i \longrightarrow \langle R_1 \rangle \longrightarrow M_2^i \longrightarrow \langle R_2 \rangle \longrightarrow M_3^i \longrightarrow \langle R_3 \rangle \longrightarrow$$

$\uparrow$   
 $(i+1)$

$\uparrow$   
 $(i+1)$

$\uparrow$   
 $(i+1)$

де:  $A_0$  – вихідні дані (технічні вимоги, ТВ);  $M_i$  – модель на етапах розробки: базової контрольної структури (БКС,  $M_1$ , що включає модель майстер-геометрії (ММГ); розподілу об'єктів (МРО,  $M_2$ ) та повного визначення СТО (МПВ,  $M_3$ );  $R_i$  – критерії розробки кожного етапу побудови моделі;  $(i+1)$  – зміни, уточнення кожного етапу побудови моделі. Математично обгрунтовано побудову моделей СТО. Представлено застосування методів декомпозиції та синтезу елементів в структурі моделей СТО. Модель на різних етапах створення СТО представимо операцією об'єднання:  $M_i = \bigcup_{i=1}^N m_i$ , де:  $m_i$  – компоненти моделі відповідного етапу створення СТО,  $N$  – загальна кількість моделей відповідного етапу створення СТО.

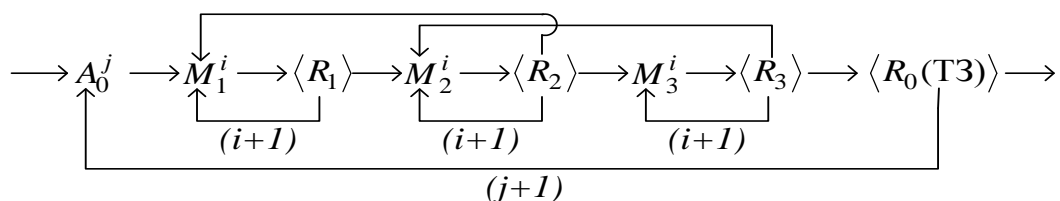
Визначено наступні проблеми: на кожному етапі розробки моделі СТО містять велику кількість елементів та міжелементних виразів, посилань, обмежень і т.п., що мають свої алгоритми побудови; моделі різних етапів створення СТО не пов'язані між собою: модифікації в одних моделях СТО, отриманих з різних складових IT CALS та PLM-рішень, які мають нести навантаження на інші моделі, є величезними і схильними до помилок; взаємодія складових IT CALS та PLM-рішень складна, що проявляється в проблемах конвертації даних з одних складових IT CALS та PLM-рішень в інші та веде до часткової або повної втрати історії створення моделей, їхньої топології та параметрів.

У зв'язку з вищеперерахованими проблемами, постає завдання дослідження: після проведеного системного аналізу IT створення моделей СТО, дослідити та сформулювати узагальнену модель (УМ) СТО, яка дозволить вирішити завдання зв'язку моделей різних стадій ЖЦ СТО; на базі моделі розробити метод знання-орієнтованого створення СТО та IT створення та супроводження узагальненої моделі СТО.

Розробка IT створення та супроводження узагальненої моделі СТО на базі методу знання-орієнтованого створення СТО відбувається: на основі онтологічного опису процесу створення СТО; шляхом керування параметричною інформацією; та при обміні даними між різними складовими IT CALS та PLM-рішень.

У другому розділі наведено розробку узагальненої моделі СТО та методу знання-орієнтованого створення СТО. Описана концепція розробки IT створення та супроводження узагальненої моделі СТО, представлено проблеми оптимізації процесу створення СТО, що представляє математичне обгрунтування процесу створення узагальненої моделі СТО.

Представимо запропонований процес розробки IT ітераційною процедурою, де:  $(j+1)$  – зміни відповідно критеріям ТВ ( $R_0(TB)$ ):





При створенні СТО необхідний контроль за розробкою ІТ. Для цього розроблено модель оцінки необхідності внесення змін в наявні ІТ. Одним із методів експертних оцінок, є SWOT-аналіз. Створюється експертна комісія з  $N$  експертів. Для визначення стратегії подальшого розвитку ІТ кожен експерт заповнює матрицю впливів можливостей на переваги системи. Для визначення стратегії подальших дій зі створення ефективної ІТ створення моделей СТО експерти заповнюють матрицю впливів можливостей ( $S$ ) на переваги ( $O$ ). На перетині  $S$  з  $O$  проставляється експертна оцінка їхнього взаємного впливу ( $e_{ij}$ ) в балах від "0" – "вплив відсутній" до "5" – "вплив дуже сильний". Підсумкова сума балів по стовпцях показує пріоритетність урахування того чи іншого чинника при виборі стратегії:  $E_j = \max_j \sum_{i=1}^{n_s} e_{ij} (j = \overline{1, n_o})$ , де  $e_{ij}$  – елемент матриці визначення оптимальної можливості,  $n_o$  – кількість можливостей,  $n_s$  – кількість переваг.

В результаті, ранжування можливостей набуває вигляду:  $O_1 < O_3 < O_2 < O_5 < O_4$ , що показує: найбільше значення при впровадженні ІТ створення СТО має доопрацювання існуючих ІТ створення моделей СТО для підвищення конкурентоспроможності та продовження ЖЦ моделей СТО.

Досліджено та розроблено концепцію створення узагальненої моделі СТО ( $M_U$ ), що складається з набору основних моделей СТО, отриманих з різних ІС на різних етапах створення СТО:

$$M_U = \{M_G, M_W, M_A, M_{CC}, M_S, M_{PP}, M_T, M_E\},$$

де представлено наступні моделі: геометрична; вагова; аеродинамічна; компоновання та центрування (К/Ц); міцності; силової установки (СУ); технологічності; економічна відповідно.

Узагальнена модель СТО описується наступними типами інформаційних зв'язків ( $\sigma_{M_U}$ ):  $\sigma_{M_U} = \{\sigma_{M_U1}, \sigma_{M_U2}, \sigma_{M_U3}\}$ , де представлено зв'язки: 1).  $\sigma_{M_U1}$  – описані лінгвістичними змінними нечіткої логіки; 2).  $\sigma_{M_U2}$  – причинно-наслідкові (онтологічна схема створення узагальненої моделі СТО; 3).  $\sigma_{M_U3}$  – структурні (схема ІТ створення та супроводження узагальненої моделі СТО). На основі даного опису формується база правил, яка реалізуються за допомогою бази знань (БЗ) та бази даних (БД).

Кожна модель компонента СТО описується власним набором параметрів, і представлена у вигляді сукупності:  $m_i = f(P_i)$ , де  $P_i$  – параметри моделей:  $P_i = \bigcup_{i=1}^n p_i$ . Завдання об'єднання моделей зводиться до вибору таких значень параметрів, при котрих СТО буде відповідати ТВ та різних етапів створення. При цьому параметри моделей СТО мають відповідати обмеженням:  $P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}$ .

Узагальнена модель на основі використання теоретико-множинного підходу дозволяє налагодити зв'язок між моделями різних стадій життєвого циклу СТО та представляє вирішення  $k$  параметричних завдань  $T_{i=1}^k$ . Алгоритми розв'язку  $T_{i=1}^k$  побудовано, як алгоритм мінімізації  $P_{j=1}^n$  в умовах проектних обмежень:

$$\min(T) = \sum_{i=1}^k \min \left\{ \sum_{j=1}^n \bigcup_{ij} P_{ij} \right\}.$$

Позначимо  $m_U = (m_1, m_2 \dots m_N)$  – множина УМ компонента СТО, кожна модель компонента СТО містить обмеження (геометричні, технологічні і т. д.),  $m_i \in M_i$ . Для єдиного критерію ефективності  $F_i(m_U)$  моделі  $m_U \in M_U$  завдання оптимального процесу створення УМ СТО з урахуванням обмежень, накладених на етапі БКС, полягає у визначенні вектора параметрів процесу створення СТО:

$$m_U^0 \in \text{Arg max}_{m_U \in M_U} F(m_U),$$

$$\text{де: } \text{Arg max}_{m_U \in M_U} F(m_U) = \{m_U \in M_U \mid F(m_U) = \max_{m_U' \in M_U} F(m_U')\} \quad (1)$$

Розробка УМ компонента СТО пов'язана з великою розмірністю  $N$  множини  $m_U$ , що потребує великих ресурсів для визначення  $F(m_U)$ . Тому для розв'язання (1) необхідно використовувати метод декомпозиції. В результаті, формуються ТВ, узгоджені з можливостями "внутрішньої" розробки.

На рис. 1 представлено структурну схему узагальненої моделі СТО. Розглянуто завдання побудови залежності параметрів геометричної моделі:  $m_{Gi} - p_{Gi}$  від параметрів моделі міцності:  $m_{Si} - p_{Si}$  та параметрів вагової моделі:  $m_{Wi} - p_{Wi}$  компонента СТО. На етапі створення БКС  $i$ -го компонента СТО в умовах невизначеності важко оцінити міжмодельний вплив. У зв'язку з чим доцільним є використання для оцінки моделей СТО лінгвістичних змінних (зв'язки  $\sigma_{M_U1}$ ). Механізм логічного висліду включає етапи: введення нечіткості, нечіткий вислід, композиція та приведення до чіткості. Цільова функція визначення УМ виглядає:

$$\min F(T_{i=1}^k) = \begin{cases} M_G \left[ \sum_{i=1}^k \min \left\{ \sum_{j=1}^n \bigcup_{ij}^{M_G} P_{ij}^{M_G} \right\} \right] \\ M_W \left[ \sum_{i=1}^k \min \left\{ \sum_{j=1}^n \bigcup_{ij}^{M_W} P_{ij}^{M_W} \right\} \right] \\ M_S \left[ \sum_{i=1}^k \min \left\{ \sum_{j=1}^n \bigcup_{ij}^{M_S} P_{ij}^{M_S} \right\} \right] \end{cases}.$$

Терм-множину змінної  $p_{Wi}$  позначимо:  $P_{Wi} = \{P_{Wi}min, P_{Wi}av, P_{Wi}max\}$  та  $p_{Si}$  позначимо:  $P_{Si} = \{P_{Si}min, P_{Si}av, P_{Si}max\}$ , де представлено множину значень змінної:  $P_{i}min$  – «умовно припустимі до мінімального значення»;  $P_{i}av$  – «припустимі»,  $P_{i}max$  – «умовно припустимі до максимального значення». Терм-множину змінної  $p_{Gi}$  позначимо:  $P_{Gi} = \{P_{Gi}min, P_{Gi}av, P_{Gi}max\}$ .

В роботі розглянуто модель Мамдані, що найчастіше використовується, та містить у консеквентах правил логічного висліду нечіткі значення, функції приналежності термів подаються відповідно до економічно обґрунтованих значень обмежень вагової моделі та значень моделі міцності. Створена база правил при побудові нечіткої моделі:

- 1). **IF**  $p_{Wi}$  **IS**  $P_{Wi}min$  **AND**  $p_{Si}$  **IS**  $P_{Si}min$  **THEN**  $p_{Gi}$  **IS**  $P_{Gi}min$  ...
- ... 9). **IF**  $p_{Wi}$  **IS**  $P_{Wi}max$  **AND**  $p_{Si}$  **IS**  $P_{Si}max$  **THEN**  $p_{Gi}$  **IS**  $P_{Gi}max$

Значення параметру ГМ отримуються за методом центру ваги, надалі розраховуємо обмеження параметрів ГМ, котрі автоматично надходять до БЗ.

Узагальнена модель СТО реалізується за допомогою розробки методу знання-орієнтованого створення СТО (рис. 2), що є базою для розробки ІТ та доповнює і

розширює наявний метод інтегрованого моделювання і комп'ютерного проектування введенням рівня керування параметрами моделей СТО з бази даних та знань для зв'язку моделей СТО та проектування і виробництва СТО.

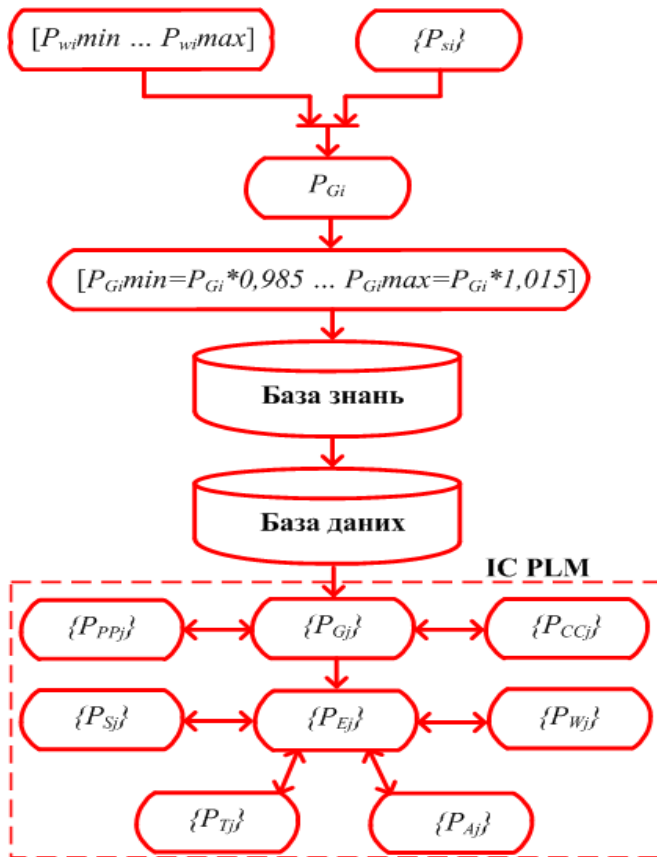


Рис. 1. Структурна схема узагальненої моделі СТО

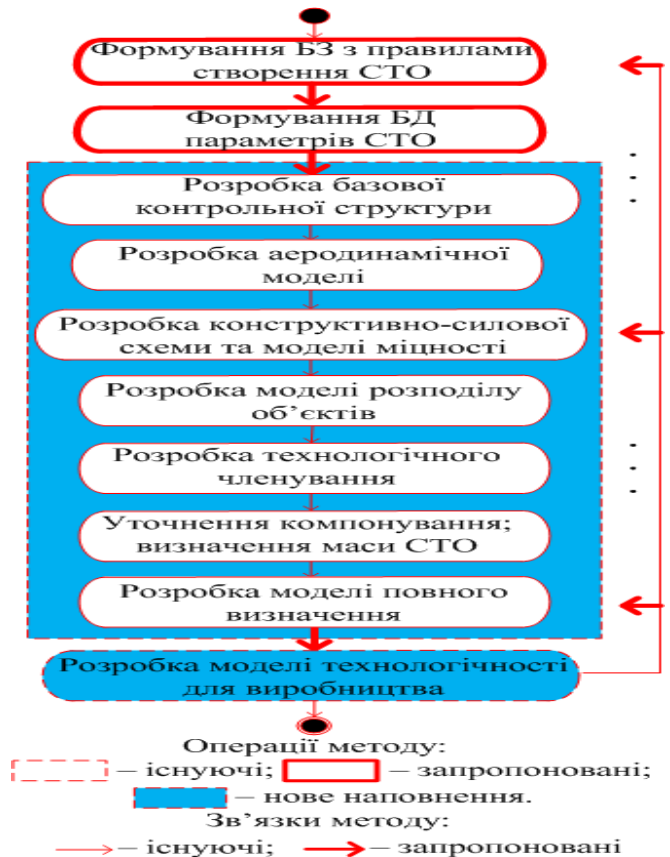


Рис. 2. Метод знання-орієнтованого створення СТО

У роботі представлена контекстна діаграма потоків даних (DFD) методу, діаграми першого та другого рівнів, які дозволяють визначити основні етапи робіт із впровадження знання-орієнтованих технологій (ЗОТ) в процес побудови моделей СТО. Для роботи з наведеними вище наборами даних організовуються сховища даних.

Розроблена в роботі діаграма "сутність-зв'язок" (ERD) призначена для розробки моделей даних і забезпечує стандартний спосіб визначення відносин між ними. Дані методу організовуються в структури: БЗ, що містить терміни з області створення СТО, зв'язки між ними, правила, що встановлюють порядок інтерпретації термінів, застосування знань, умови проведення розрахунків, узгодження з вимогами стандартів; файлову БД, що містить параметри для визначення моделей СТО та БД підприємства, що містить моделі СТО в IC PLM.

**В третьому розділі** розроблено модифікації методу знання-орієнтованого створення СТО для керування параметричною інформацією при побудові моделей СТО та обміну даними між складовими IT CALS та PLM-рішень і засоби реалізації методу, що є базою для розробки інформаційної технології.

Метод знання-орієнтованого створення СТО включає розв'язок наступних завдань: 1). вирішення проблеми відстеження зв'язків даних на різних етапах

побудови моделей СТО; 2). поєднання компонентів технології CALS. Для розв'язання першого завдання розробляється модифікація методу знання-орієнтованого створення СТО для керування параметричною інформацією (рис. 3). Для розв'язання другого завдання розробляється модифікація методу знання-орієнтованого створення СТО для обміну даними між різними складовими ІТ CALS та PLM-рішень (рис. 4), що отримано після проведеного аналізу методів обміну даними при створенні моделей.

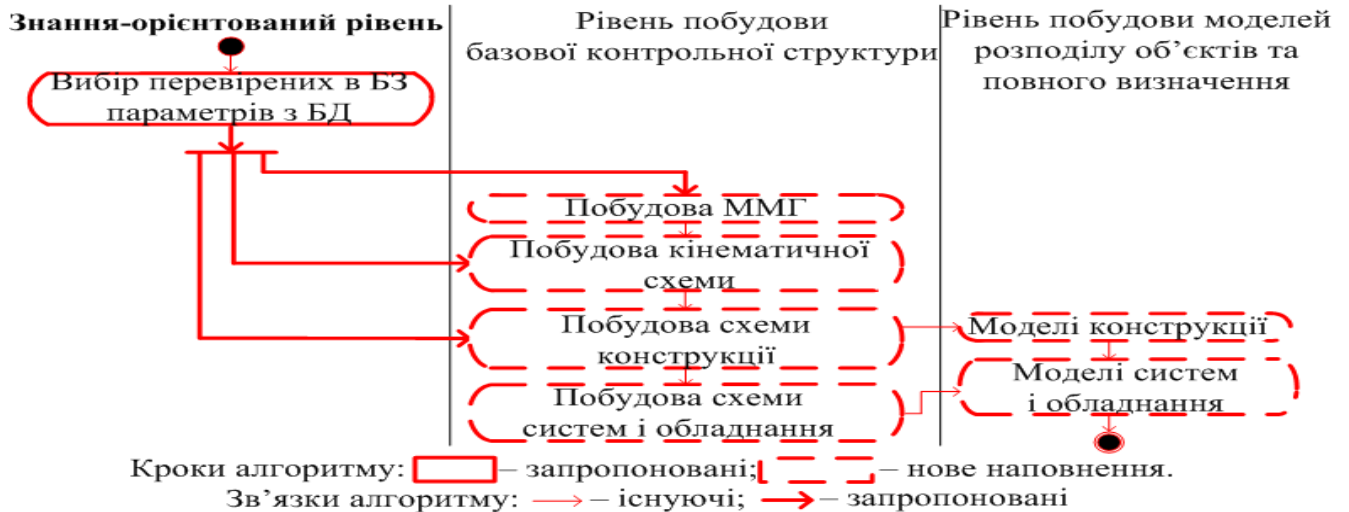


Рис. 3. Діаграма діяльності керування параметричною інформацією



Рис. 4. Діаграма діяльності обміну даними між складовими CALS та PLM-рішень

Для реалізації методу виконано розробку засобів: БЗ; БД; розроблено прикладне програмне забезпечення; обрано складові ІТ CALS та PLM-рішень, що дозволяють ефективно вирішити поставлені завдання. Розроблено БД, що містить параметри для визначення моделей СТО, де зберігаються параметри, що описують характеристики, особливості компонування, економічні параметри СТО і т.д. Описано складові БД підприємства, що містить моделі СТО, результати розрахунків, різну службову інформацію та яка знаходиться в ІС PLM.

Розроблено БЗ створення УМ СТО, основою котрої є розроблена онтологічна схема. Онтологічна схема створення та супроводження узагальненої моделі СТО описує основні зв'язки та співвідношення процесу створення СТО, основу которого складає створення геометричної моделі (ГМ). Отримана система класів, атрибутів і зв'язків складають основу БЗ і системи прийняття рішень, використовуючи ЗОТ при створенні СТО.

Онтологію ( $O$ ) області створення та супроводження узагальненої моделі СТО представлено у вигляді, який визначається системою виводу на основі зв'язків  $\sigma_{M_U2}$ :  $O = \langle M_U, R, F \rangle$ , де:  $M_U$  – множина концептів (понять, термінів) області створення УМ СТО,  $R$  – скінчена множина відношень між концептами (поняттями, термінами) області створення УМ СТО,  $F$  – скінченна множина функцій інтерпретації, які задані на концептах і відношеннях онтології.

В розробленій БЗ зберігаються обмеження на складові БД "Параметри моделей СТО" відповідно вимогам нормативних документів, ТВ і т. д. Формулювання мети використання БЗ та БД полягає у визначенні на припустимій множині варіантів рішень, які описуються обмеженнями, такого варіанту, для которого критерій оптимальності (цільова функція або функціонал), який визначає якість рішення, приймає екстремальне значення:  $F^* = \underset{P_n \in E_k(m_U)}{extr} F(P_n)$ , де  $E_k(m_U)$  –

критерії ефективності  $m_U \in M_U$ . Кожний елемент моделі описується власним набором параметрів, і представлений у вигляді сукупності:  $m_i = f(P_i)$ , де  $P_i$  – параметри моделей:  $P_i = \bigcup_{i=1}^n p_i$ . В цілому система обмежень виглядає:

$$\begin{cases} E_1(m_U)_{\min} \leq E_1(m_U) \leq E_1(m_U)_{\max}; \\ E_2(m_U)_{\min} \leq E_2(m_U) \leq E_2(m_U)_{\max}; \\ \dots\dots\dots \\ E_k(m_U)_{\min} \leq E_k(m_U) \leq E_k(m_U)_{\max}. \end{cases}$$

Зокрема, нерівності, що входять до системи  $E_1(m_U)$  носять геометричний характер; специфіка побудови СТО накладає також обмеження:  $E_2(m_U)$  – центрувальні;  $E_3(m_U)$  – маси СТО;  $E_4(m_U)$  – за зовнішніми впливами на область розробки (рівні механічних, кліматичних та ін.), сумісність обладнання;  $E_5(m_U)$  – виконання вимог технологічності, що є сполучною ланкою між проектуванням та виробництвом СТО і т.д. Оператор  $E_i(m_U)$  ( $i=1..k$ ) розуміється в широкому сенсі. Це може бути рівність чи нерівність, їхня система, а для деяких специфічних обмежень – диференціальний або інтегральний оператор. Припустимі рівні  $E_i(m_U)$  оговорені рядом нормативних документів, вимогами до створення СТО, ТВ і т. д.

Описано зв'язок між моделями СТО в БЗ, що визначається системою IF-THEN-ELSE правил. Представимо приклад правил: **IF**  $p_i^{\min} > p_i > p_i^{\max}$  **THEN**  $p_i$  – НЕДІЙСНИЙ (стосується обмежень будь-яких моделей); **IF**  $p_{G_i}$  ЗМІНЮЄТЬСЯ **THEN** ЗМІНЮЮТЬСЯ  $m_{Gi}$ ,  $m_{Wi}$ ,  $m_{Ai}$ ,  $m_{CCi}$ ,  $m_{Si}$ ,  $m_{PPi}$ ,  $m_{Ti}$ ,  $m_{Ei}$  і т. д.

Розроблено систему програмних модулів, що створює швидкі та якісні умови для внесення змін в процес проектування і виробництва СТО за допомогою

спеціально налаштованих дій програмних модулів та здатне весь час підтримувати дуплексний зв'язок із БД і дозволяє: робити запит та отримувати інформацію про складові, правила, умови та обмеження БЗ.

**В четвертому розділі** розв'язано завдання реалізації ІТ створення та супроводження узагальненої моделі СТО на базі методу і засобів знання-орієнтованого створення СТО у вигляді ІС та виконано оцінку її ефективності.

В роботі проведена формалізація наявного процесу створення моделей СТО та розроблено структурну схему ІТ створення та супроводження узагальненої моделі СТО (опис зв'язків  $\sigma_{M_{U3}}$ ) за рахунок формування БЗ і БД та поєднання їх із моделями СТО, отриманих з різних складових ІТ CALS та PLM-рішень веденням проекту СТО в ІС PLM (рис. 5). Операції обґрунтовані та розглянуті на прикладах.

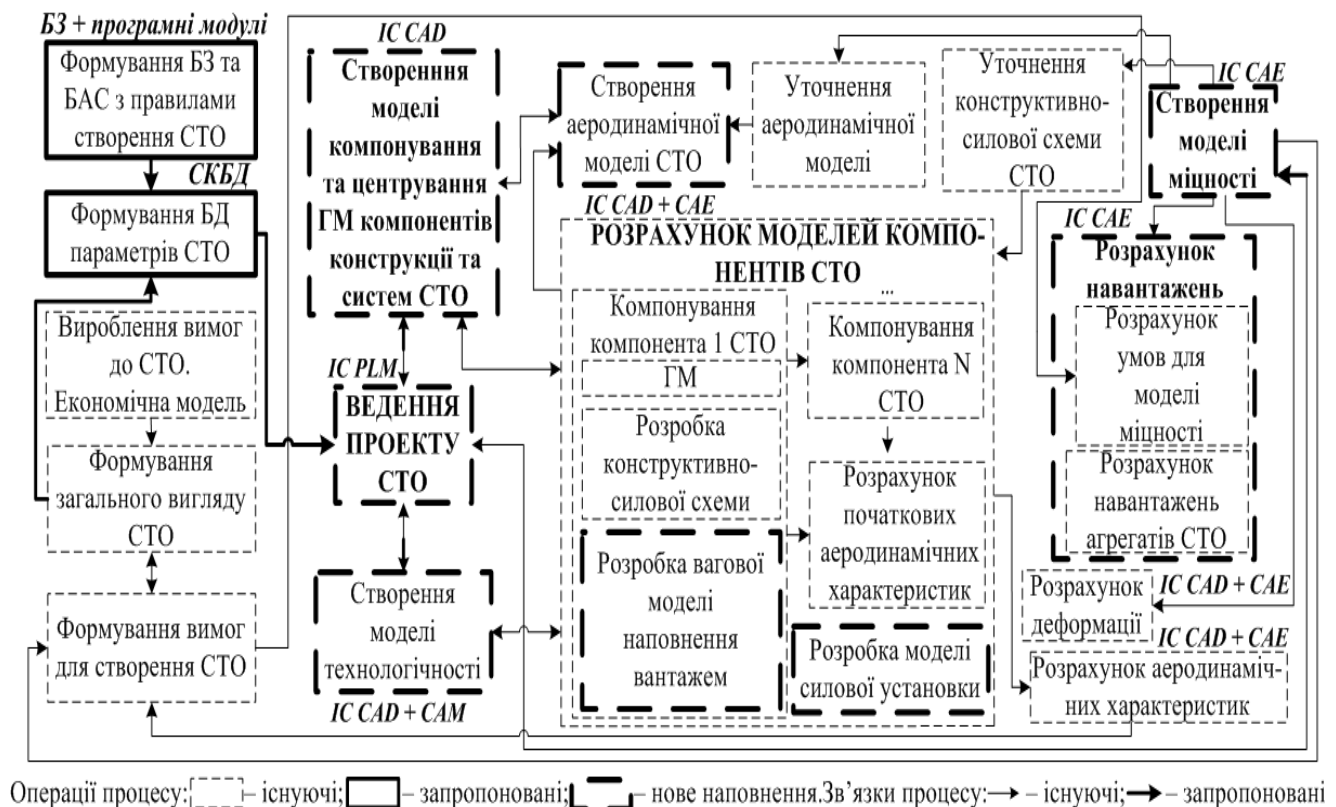


Рис. 5. Структурна схема інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі СТО

Після проведеного огляду обчислювального середовища та урахування світового досвіду провідних компаній-виробників СТО, прийняте рішення використовувати ІС PLM TeamCenter; БД ведеться в MySQL за допомогою системи керування БД DbVisualizer; для розробки БЗ використовуються програми Protege 4.3 та DbVisualizer; в роботі обране середовище Java для розробки системи програмних модулів та для зв'язку ІС CAx NX з БД та середовище Visual Basic для зв'язку ІС CAx CATIA з БД.

Структурна схема ІС створення та супроводження узагальненої моделі СТО на підприємстві показана на рис. 6, де представлено приєднання розроблених інструментальних засобів ІС до наявних серверів підприємства, з яких отримуються дані. Основні компоненти ІС створення та супроводження узагальненої моделі СТО показано на рис. 7.

База знань, що лежить в основі системи прийняття рішень при моделюванні СТО, взаємодіє в процесі роботи з кожним з основних компонентів ЗОТ при моделюванні СТО. Реалізовано знання-орієнтоване середовище керування параметричною інформацією шляхом використання БЗ для опису зв'язку, обмежень та правил між складовими процесу побудови моделей СТО. Реалізовано зв'язок знання-орієнтованого керування параметрами моделей за допомогою програмних модулів. Розробка ІТ створення та супроводження узагальненої моделі СТО здійснюється за допомогою середовища Java, в якому програмні модулі використовують інформацію про моделі з БЗ.

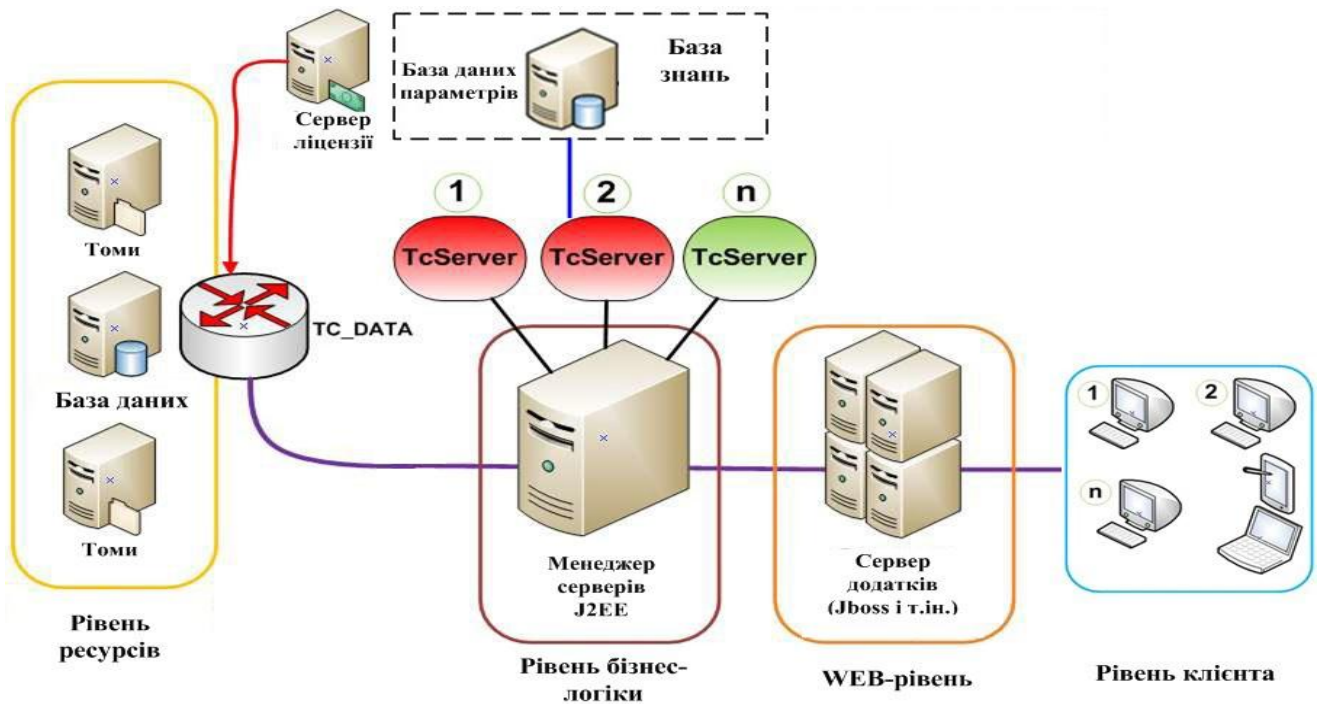


Рис. 6. Структурна схема інформаційної системи створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів

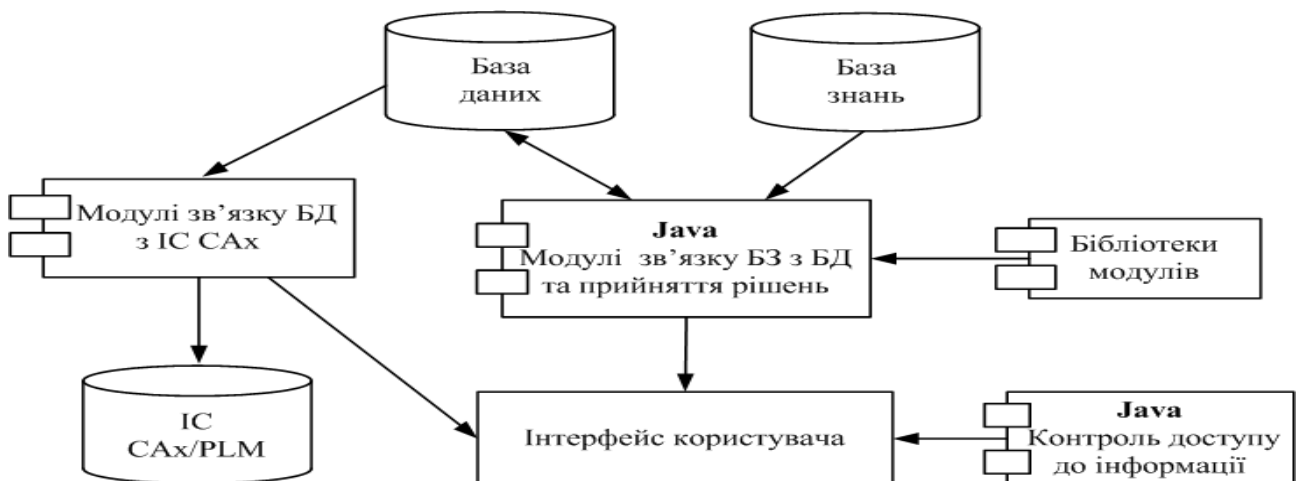


Рис. 7. Основні компоненти інформаційної системи створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів

Наведено приклад розв'язку проектного завдання зв'язку моделей та параметрів бази даних на прикладі створення УМ вантажного люку (ВЛ) літального апарату (ЛА). Створено систему прийняття рішень, що реалізовано за



допомогою системи програмних модулів, що дозволяє поєднати ГМ створення ВЛ з моделями аеродинаміки, центрування, вагової моделі. В «Сигналізуючому модулі» описано створення загальної форми, яка використовується іншими модулями для виведення інформації залежно від заданих умов. «Перевіряючий модуль» перевіряє тотожність введених в БД параметрів на відповідність обмеженням в БЗ. У випадку, коли параметри в БД не відповідають обмеженням БЗ, «Перевіряючий модуль» після порівняння виводить повідомлення, наприклад: "Довжина рампи не відповідає встановленим обмеженням". «Коригуючий модуль» розраховує значення довжини стулки залежно від введеного значення параметру довжини рампи. Перевірені зміни параметрів з БД про положення складових вантажного люку ЛА автоматично надходять з кінематичної схеми до схеми конструкції БКС. На рис. 8 представлено приклад обміну даними між моделями в IC TeamCenter. Досліджено вплив розроблених моделей компонентів ВЛ на моделі центрування та габарити вантажів при їхньому скиданні.

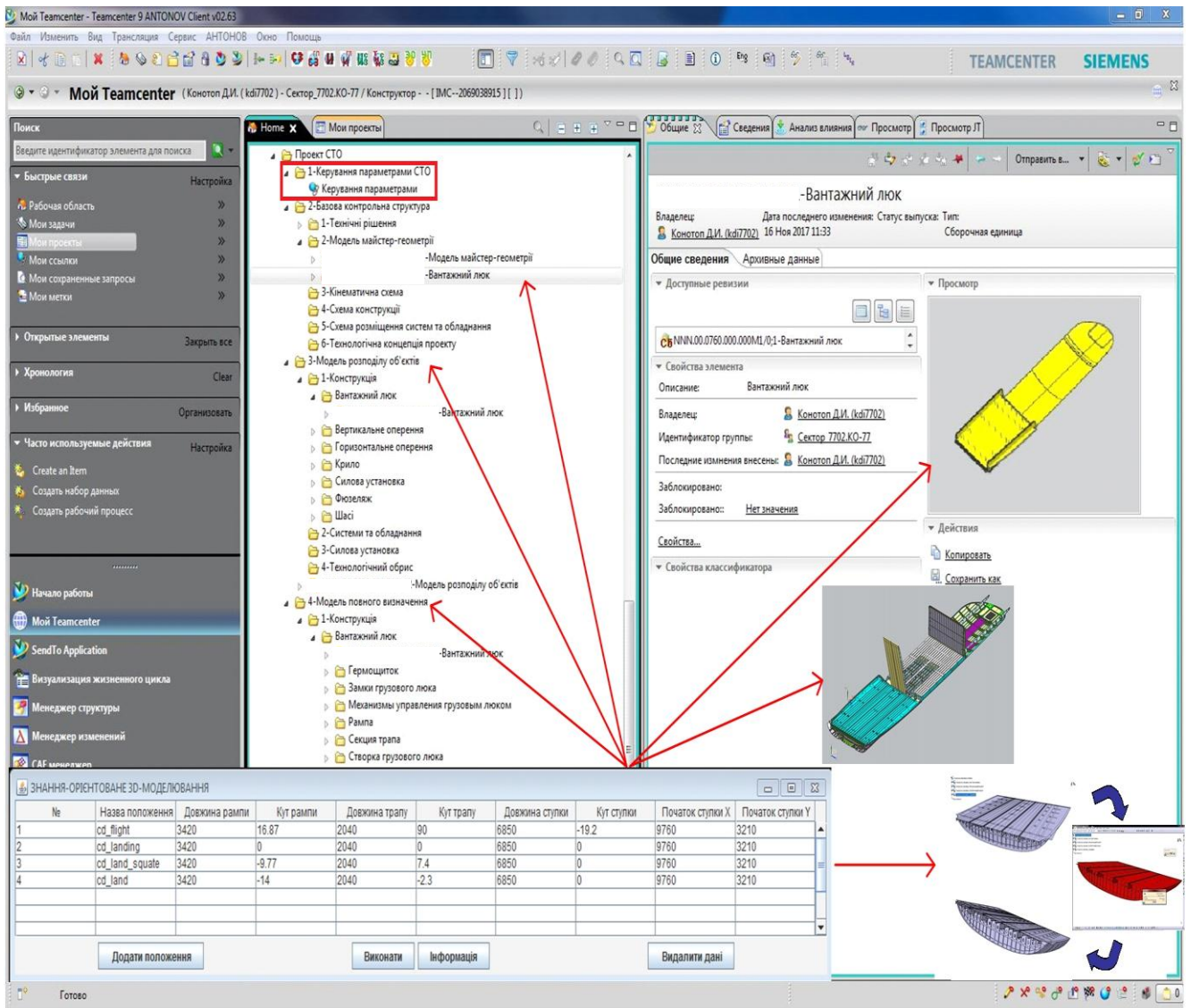


Рис. 8. Приклад обміну даними між моделями в IC TeamCenter

Впровадження інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі СТО доповнює технології паралельного проектування IC



PLM та складові IT CALS та PLM-рішень для завдання створення моделей СТО, що забезпечує зменшення термінів створення СТО за рахунок керування параметрами моделі СТО. Наприклад, порівняємо час розробки усіх етапів побудови моделей ВЛ в IC SAx та PLM: наявними IT відповідно план-графіку час складає 7280 людино-годин, а розробленою IT створення та супроводження узагальненої моделі СТО – 5660, що показала близько 22% економії матеріальних витрат. І це тільки при розгляді аспекту застосування модифікації методу знання-орієнтованого створення СТО для керування параметричною інформацією. У випадку проектної кооперації, коли використовується декілька IC SAx, запропонована модифікація методу ЗОМ складного технічного об'єкта для обміну даними між різними складовими IT CALS та PLM-рішень, надасть додаткову ефективність використання IT за рахунок того, що ведеться лише одна БЗ та БД – спільна для всіх використаних IC SAx та PLM.

## **ВИСНОВКИ**

В дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання дослідження та розробки інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі СТО з метою зниження термінів створення СТО та зменшення їхньої вартості при забезпеченні відповідної якості за рахунок налагодження зв'язку між моделями СТО та поєднання складових інформаційних технологій CALS та PLM-рішень. В роботі отримані наступні наукові результати:

1. Проведено системний аналіз сучасних технологій, методів і засобів створення моделей СТО та інформаційних технологій CALS та PLM-рішень, в результаті чого визначена необхідність розробки інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі СТО.

2. Вперше сформульовано та досліджено узагальнену модель СТО, яка дозволяє налагодити інформаційний зв'язок між моделями СТО за рахунок використання для оцінки моделей СТО лінгвістичних змінних. В роботі розглянуто модель Мамдані для вирішення завдання побудови залежності параметрів геометричної моделі від параметрів моделі міцності та параметрів вагової моделі компонента СТО відповідно економічно обґрунтованим значенням обмежень вагової моделі та моделі міцності.

3. Вперше розроблено метод знання-орієнтованого створення СТО на базі узагальненої моделі, що дозволяє забезпечити взаємозв'язок між етапами створення складних технічних об'єктів, а також поєднати складові інформаційних технологій CALS та PLM-рішень за рахунок розробки наступних засобів: бази знань, що є основою для прийняття рішень в процесі створення СТО на основі знання-орієнтованих технологій; бази даних, що містить параметри моделей СТО; системи програмних модулів, яка підтримує зв'язок бази знань із базою даних.

4. Створено модифікації методу знання-орієнтованого створення СТО: керування параметричною інформацією при створенні моделей складних технічних об'єктів; обміну даними між складовими інформаційних технологій CALS та PLM-рішень для розв'язання завдань методу із відстеження зв'язків даних на різних етапах побудови моделей СТО та поєднання компонентів технології CALS.

5. Розроблено інформаційну технологію створення та супроводження узагальненої моделі СТО та виконано оцінку її ефективності, що показало близько 22% економії матеріальних витрат при створенні агрегатів СТО на прикладі розробки моделей вантажного люку ЛА. У випадку проектної кооперації, коли використовується декілька інформаційних систем САХ, буде отримана додаткова ефективність використання інформаційної технології за рахунок ведення одних баз знань та баз даних для всіх використаних інформаційних систем САХ. Розроблена інформаційна технологія створення та супроводження узагальненої моделі та написане програмне забезпечення використовуються при проектуванні легкого транспортного літака та турбогвинтового регіонального вантажопасажирського літака на ДП «Антонов». Результати роботи впроваджені у навчальний процес КПІ ім. Ігоря Сікорського та Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Зінченко В. П. Анализ средств и методов информационных технологий синтеза структур конечно-элементных моделей / В. П. Зінченко, В. В. Борисов, Д. И. Конотоп // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2009. – № 3. – С. 112–121. *(автору належить: аналіз проблеми взаємодії моделей та ІС PLM.)*
2. Зінченко В. П. Концепція застосування інтелектуальних технологій в проектуванні / В. П. Зінченко, Д. І. Конотоп, Г. В. Деркач, Є. Ю. Абрамов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т “ХАИ”, 2011. – № 49. – С. 169–179. *(автору належить: розкриття методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів та його модифікації.)*
3. Зінченко В. П. Інформаційні технології моделювання компоновки складного технічного об'єкта / В. П. Зінченко, Д. І. Конотоп, О. П. Сидоренко, В. В. Борисов // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2011. – № 6. – С. 27–35. *(автору належить: формалізація проблематики розробки інформаційних технологій процесу побудови моделей.)*
4. Abramova A. V. Ontology application for estimation of complex technical object characteristics / A. V. Abramova, D. I. Konotop // Електроніка та системи управління. – 2012. – №3 (33). – С. 81–88. *(автору належить: опис методу та засобів знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів; його модифікації.)*
5. Конотоп Д. І. Створення контрольної базової моделі в інформаційних технологіях проектування складного технічного об'єкта / Д. І. Конотоп, В. П. Зінченко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2012. – № 6 (86). – С. 132–137. *(автору належить: розробка модифікації методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів для керування параметричною інформацією при створенні моделей.)*
6. Абрамова Г. В. Алгоритми планування вагових розрахунків літака / Г. В. Абрамова, Д. І. Конотоп // Вісник Національного Авіаційного Університету.

– 2013. – № 2 (55). – С. 129–135. (*автору належить: розробка методу та модифікації методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів.*)

**Стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Index Copernicus**

7. Konotop D. I. 3D-models design concept of complex technical objects using knowledge-based technology/ D. I. Konotop, V. P. Zinchenko // *Механіка гіроскопічних систем.* – 2017. – № 34. – С. 5–13. (*автору належить: опис методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів та його модифікацій.*)

**Стаття у іноземному виданні**

8. Конотоп Д. И. Оптимальное проектирование сложных технических объектов с использованием онтологического подхода / Д. И. Конотоп, В. П. Зинченко // *Научный журнал "Онтология проектирования".* – Самара, "Новая техника". – 2011. – № 1(2). – С. 44–53. (*автору належить: опис методу знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів та його модифікацій.*)

**Матеріали науково-технічних конференцій**

9. Зінченко В. П. Проблеми оптимізації компоновки складного технічного об'єкту / В. П. Зінченко, С. В. Зінченко, Д. І. Конотоп, В. В. Борисов. // *II наук. конференція магістрів та аспірантів, присвячена 20-річчю факультету прикладної математики (Київ, 14 - 16 квітня 2010 р.)* – К.: НТУУ "КПІ" – 2010. – Тези доповідей. – С. 64–67.

10. Зінченко В. П. Застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій при проектуванні складного технічного об'єкту / В. П. Зінченко, Д. І. Конотоп // *Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія" (Вінниця, 19 - 21 травня 2010 р.)* – Вінниця: ВНТУ – 2010. – Тези доповідей. – С. 50–51.

11. Konotop D. Multi-agent-based conception of modern aircraft design / D. Konotop, I. Budinska, V. Zinchenko, E. Gatial // *Proceedings of 5<sup>th</sup> Workshop on Intelligent and Knowledge Oriented Technologies (Bratislava, Slovakia, November 11 - 12, 2010)* – p. 125–128.

12. Абрамов Є. Ю. Алгоритмізація бази знань проектування складного технічного об'єкту / Є. Ю. Абрамов, Д. І. Конотоп, Г. В. Деркач // *XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика/Automatics – 2011" (Львів, 28 - 30 вересня 2011 р.)* – Львів: Видавництво Львівської політехніки – 2011 – Матеріали конференції. – С. 358–359.

13. Конотоп Д. И. Визначення керуючої моделі проектування складного технічного об'єкта / Д. И. Конотоп // *XII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (Київ, 4 - 5 квітня 2012 р.)* – К.: НАУ – 2012. – Тези доповідей. – С. 69.

14. Конотоп Д. И. Использование базовой управляющей структуры в процессе проектирования сложного технического объекта / Д. И. Конотоп // *XIX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «ЛОМОНОСОВ-2012» (Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова, 9 - 13 апреля*

2012 г.) – М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ – 2012. – Сборник тезисов. – С. 29–30.

15. Abramova A. V. Application of Sheynin's plural calculations method at the initial stages of complex technical object design / A. V. Abramova, D. I. Konotop // 2-nd International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control» (Kyiv, October, 9 - 12, 2012) – К.: Освіта України – 2012. – Proceedings. – С. 129–132. (**Наукометрична база SCOPUS**)

16. Abramova A. V. Using graphs for the planning at the initial stages of complex technical object design / A. V. Abramova, D. I. Konotop // The 2nd International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics" (Kyiv, November, 12 - 16, 2012) – К.: "Bukrek" – 2012. – Proceedings. – С. 8–13.

17. Конотоп Д. І. Застосування онтології в обміні даними при розробці складного технічного об'єкта / Д. І. Конотоп // Збірник доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки”. – Київ, 17 - 18 квітня 2013 – Секція "Інформаційні технології". – С. 437–440.

18. Abramov E. Knowledge-oriented support of complex technical object design / E. Abramov, D. Konotop, A. Abramova // 2-nd International Conference «Actual problems of UAV development» (Kyiv, October, 15 - 17, 2013) – Proceedings. – P. 122–125. (**Наукометрична база SCOPUS**)

19. Konotop D. Using ontology in geometrical modeling of complex technical object. / D. Konotop // VII International students and young scientists conference «Intelligence. Integration. Reliability» (Kyiv-Warsaw, April, 28 - 29, 2014) – К.: ІБЦ "Видавництво «Політехніка»" – 2014 – Abstracts. – P. 20–21.

20. Konotop D. Ontology using in geometrical models data processing of complex technical object / D. Konotop // XX-th International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» (Kyiv, September, 8 - 10, 2014) – ITHEA. Kyiv - Sofia – 2014 – Proceedings. – P. 118–119.

21. Конотоп Д. І. Використання знання-орієнтованих систем при створенні складного технічного об'єкта / Д. І. Конотоп, В. П. Зінченко, Лі Вей // Збірник доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки” (Київ, 16 - 17 квітня 2015) – Секція "Інформаційні технології". – С. 206–211.

22. Конотоп Д. І. Знання-орієнтована побудова геометричних моделей складних технічних об'єктів / Д. І. Конотоп, В. П. Зінченко // Збірник доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки” (Київ, 13 - 14 квітня 2017) – Секція "Інформаційні технології". – С. 72–75.

23. Конотоп Д. І. Створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів / Д. І. Конотоп // Збірник доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції “Інновації в суднобудуванні та океанотехніці” (Миколаїв, 18 - 19 жовтня 2018) – Секція "Інформаційні технології та управління проектами в промисловості, освіті та соціальній сфері". – С. 402–405.

***Навчальний посібник***

24. Зінченко В. П. Обчислювальні мережі: побудова та програмування: навч. посібник / В. П. Зінченко, С. В. Зінченко, І. В. Мірошніченко, Д. І. Конотоп, В. Резаї – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 240 с.

**АНОТАЦІЯ**

**Конотоп Д. І. Інформаційна технологія створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2019.

В роботі розроблено та досліджено інформаційну технологію створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів з метою зниження термінів створення складних технічних об'єктів та зменшення їхньої вартості при забезпеченні відповідної якості за рахунок налагодження зв'язку між моделями складних технічних об'єктів та поєднання складових інформаційних технологій CALS та PLM-рішень.

Вперше сформовано та досліджено узагальнену модель складних технічних об'єктів, яка дозволяє налагодити інформаційний зв'язок між моделями створення складних технічних об'єктів. Вперше розроблено метод знання-орієнтованого створення складних технічних об'єктів, що дозволяє забезпечити взаємозв'язок між етапами створення складних технічних об'єктів і поєднати складові інформаційних технологій CALS та PLM-рішень. Ефективність використання інформаційної технології створення та супроводження узагальненої моделі складних технічних об'єктів показала близько 22% економії матеріальних витрат на прикладі розробки моделей вантажного люку ЛА.

*Ключові слова:* інформаційна технологія, інформаційна система, узагальнена модель, складний технічний об'єкт, знання-орієнтована технологія, CALS, PLM, база даних, база знань.

**АННОТАЦИЯ**

**Конотоп Д. И. Информационная технология построения и сопровождения обобщенной модели сложных технических объектов.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2019.

В работе разработана и исследована информационная технология построения и сопровождения обобщенной модели сложных технических объектов с целью снижения сроков создания сложных технических объектов и уменьшения их стоимости при обеспечении соответствующего качества за счет налаживания связи между моделями сложных технических объектов и соединения составляющих информационных технологий CALS и PLM-решений.

Впервые сформирована и исследована обобщенная модель сложных технических объектов, которая позволяет наладить информационную связь между моделями создания сложных технических объектов. Впервые разработан метод знание-ориентированного создания сложных технических объектов, позволяющий обеспечить взаимосвязь между этапами создания сложных технических объектов и соединить составляющие информационных технологий CALS и PLM-решений. Эффективность использования информационной технологии создания и сопровождения обобщенной модели сложных технических объектов показала приблизительно 22% экономии материальных расходов на примере разработки моделей грузового люка летательного аппарата.

*Ключевые слова:* информационная технология, информационная система, обобщенная модель, сложный технический объект, знание-ориентированная технология, CALS, PLM, база данных, база знаний.

## SUMMARY

**Konotop D. I. Information technology of complex technical objects common model creation and support.** – Manuscript.

Thesis for a candidate of technical sciences degree in specialty 05.13.06 – information technology. – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorskiy», MES of Ukraine, Kyiv, 2019.

Information technology of complex technical objects (CTO) common model creation and support has been studied and developed with the aim of CTO creation terms cutting and reduction of it prices in the proper quality denotation for providing links between the stages of building models of CTO at different stages of CTO creation and transferring data between the components of information technology CALS and PLM solutions.

Information technology of modelling of complex technical objects are analyzed.

The method of knowledge-oriented creation of CTO is created.

The modification of method of knowledge-oriented creation for managing parametric information in the creation of models to solve problems tracking the identity of the source data at different stages of building a model of CTO is provided for the establishment of the relationship stages of building models CTO.

The modification of method of knowledge-oriented creation of CTO for data exchange between the components of information technology CALS and PLM solutions is designed. This is the process of data converting at different computer-aided (CAx) systems which is received after analyze of data transferring of models from different CAx and their disadvantages were defined.

To implement the method, the ontological scheme of the previous stages of CTO models design is presented and the means are developed: knowledge base, database, application software, components of CALS are selected.

Database that contains an option to specify models of CTO on the example of the aircraft is developed, which stores parameters that describe the characteristics, layout, economic parameters of the aircraft, etc.

The knowledge base for constructing models of CTO is developed, ontological scheme of development of models of complex technical projects is presented. The

program modules system for knowledge-based building of models of CTO is designed that creating a fast and qualitative terms to make changes in the design and production of CTO.

The program modules environment through customized software modules capable of action at all times maintain a duplex connection with a database and allows: to request and receive information about the components, rules, conditions and limitations of the knowledge base.

After a review of the computing environment and the world experience leading manufacturers of CTO, decided to use the system CAX: NX and CATIA under the overall control system PLM TeamCenter, the database is in MySQL using the database management system DbVisualizer, to develop the knowledge base used by the program Protege 4.3 and DbVisualizer, Visual Basic environment is used for communication of CATIA applications with database, and Java environment is used for program modules development and communications of software of NX with database.

The practical significance of the results is that the thesis proposed the approach and means brought to the engineering level and used in the development of components of CALS technology of complex technical object: the process of models building, which increases the efficiency of CTO design is improved.

The example of problem solving the communication of models and parameters from database is applied on the example of building a model cargo door of the aircraft at "Antonov" company is designed by the author. The main provisions and conclusions of the thesis used in the educational process of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky" and the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

The efficiency of implementation of information technology of complex technical objects common model creation based on knowledge-oriented technologies, solving design challenges is researched.

Implementation of method of knowledge-oriented creation of CTO is a significant improvement technology of basic control structure and components of CALS technology to problems of building models of complex technical objects, providing the shortening design through control parameters of model. For example, while all stages of building models of aircraft cargo hatch system NX: existing methods in accordance with schedule time is 7280 man-hours and developed by modeling of complex technical objects based on knowledge-oriented technologies - 5660, which gives approximately 22% savings in material costs. And it is only by considering aspects of the modification of method of knowledge-oriented creation for managing parametric information in the creation of models. If the company uses other CAX systems, then the modification of method of knowledge-oriented creation of CTO for data exchange between the components of information technology CALS and PLM solutions provides additional efficiency by a method that is only one knowledge base and the base data - common to all systems used CAX.

*Keywords:* information technology, information system, common model, complex technical object, knowledge-based technology, CALS, PLM, data base, knowledge base.